

СТРУКТУРА ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ ИЗ СПЛАВА ЧС-70 ПОСЛЕ АВАРИЙНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Давыдов Д.И.

Руководитель – д.ф.-м.н. Степанова Н.Н.

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

davidov@imp.uran.ru

Работа посвящена исследованию структурного состояния литой поликристаллической лопатки после её аварийного разрушения во время работы 45-мегаваттной турбины ГТЭ-45-3 (Якутская ГРЭС) в результате удара осколками соседней лопатки при 880°C, скорость вращения составляла 5000 об/мин. До полной остановки турбины вращение продолжалось 20 мин. На момент разрушения наработка составляла 9390 ч., 17 пусков. Заводом-изготовителем предполагалась работа лопатки не менее 27000 ч. Материалом лопатки является коррозионно-стойкий сплав ЧС-70В (ХН58КВТЮМБЛ), табл. 1.

Таблица 1. Химический состав исследованного сплава

С	Cr	Mo	Nb	Ti	Al	W	Co	B
0,10	15,4	1,5	0,25	5,0	3,5	3,6	10,6	0,02

Жаростойкость сплава ЧС-70В обусловлена включением в его состав большего количества хрома (до 16 %). Следует отметить, что в данном случае концентрация вольфрама находится на нижней границе легирования, поскольку технические условия допускают его содержание от 3,5 до 5 %. Именно этот элемент ответственен за уменьшение диффузии в сплаве и в значительной степени обеспечивает его жаропрочность. Основными фазами сплава являются γ твердый раствор на основе никеля и упрочняющая интерметаллидная γ' -фаза на основе Ni_3Al , в также карбидная и боридная фазы (в исходном состоянии TiC и Cr_3B_2).

Исследованная нами лопатка после разрушения сохранила замковую часть и нижнюю треть пера частью. При металлографическом исследовании выявляется структура литого сплава с равноосными крупными зернами (от 100 до 800 мкм). Внутри зерна дендритные с большим количеством эвтектики в междендритных промежутках, что характерно для данного сплава.

Упрочняющая γ' -фаза имеет разную морфологию в различных частях лопатки. Это, по-видимому, явилось следствием ликвации и связано с большим количеством эвтектической фазы в сплаве. В массивной замковой части лопатки видны крупные далеко отстоящие друг от друга области эвтектики, ее объемная доля ~ 5 %. В окружающей эвтектику матрице по данным рентгеноспектрального микроанализа средняя концентрация Al составляла 3,5 %. Соответственно объемная доля γ' -фазы в замке близка к 40 % и частицы упрочняющей интерметаллидной γ' -фазы имеют кубоидную морфологию. Перо

охлаждалось гораздо быстрее, в структуре наблюдаются многочисленные мелкие участки эвтектики $\gamma' + \gamma$, в которой повышено содержание Al (до 4,8 %) и Ti (до 9,2 %), об. доля ~ 12 %. Концентрация Al в окружающей участки эвтектики матрице понижена до 2,8 %. Это привело к снижению объемной доли γ' -фазы в пере до ~ 30 %, соответственно, к выделению частиц γ' -фазы округлой формы.

Сплав ЧС-70 обладает высокой длительной прочностью и жаростойкостью в интервале температур до 900°C , в частности, высокую стойкость к сульфидной коррозии и термическую стойкость от окисления. Наиболее устойчивой для зарождения трещины являются температуры до 850°C , в интервале $20-800^\circ\text{C}$ скорость распространения трещины наименьшая. Однако при приближении к 900°C в зоне действия растягивающих и изгибающих механических нагрузок развивается коррозия под напряжением, что проявляется как развитие пористости, приводящей к разупрочнению материала. Металлографический анализ подтверждает наличие микропор, которые, сливаясь, образуют микротрещины. В результате при знакопеременных нагрузках (вибрация) проявляется коррозионная усталость и возрастает опасность образования усталостных трещин.

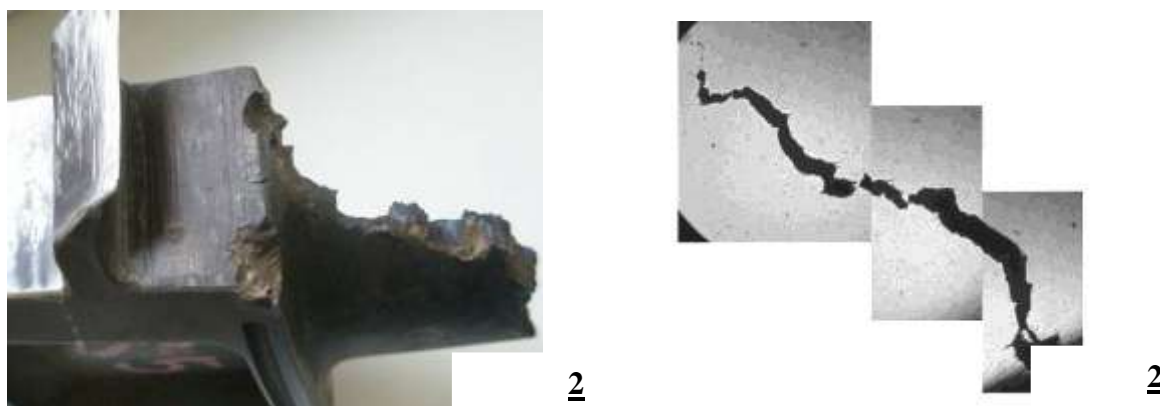


Рис. 1. Внешний вид разрушенной лопатки (а) и усталостная трещина (б).

Усталостные трещины наблюдались нами как визуально на поверхности лопатки (Рис. 1.а), так и при ее металлографическом исследовании (Рис. 1.б). В данном образце трещины имеют длину от 3 до 15 мм с раскрытием практически по всей длине на 0,2-0,4 мм. Одна из трещин более крупная, длиной 10 мм с раскрытием в устье 1-2 мм. Эти поверхностные дефекты являются дополнительными концентраторами напряжений и ускоряют разрушение турбинной лопатки. Нарушение сплошности также может приводить к неравномерности температурного поля внутри детали.

После длительной эксплуатации при 880°C в замке лопатки, подвергавшемуся в основном тепловому воздействию, развивается коагуляция частиц γ' -фазы. Перо лопатки подвергалось одновременному действию высокой температуры и напряжений. В результате в пере наблюдаются как отдельные дислокации, так и полосы скольжения (Рис. 2). Характерной

особенностью структурного состояния пера являются дефекты упаковки внутри частиц γ' -фазы. Наиболее повреждаемой в процессе эксплуатации лопатки является спинка (выпуклая часть) пера. В этой области отмечена повышенная концентрация дефектов: высокая плотность дислокаций, полосы скольжения и многочисленные дефекты упаковки внутри частиц упрочняющей фазы.

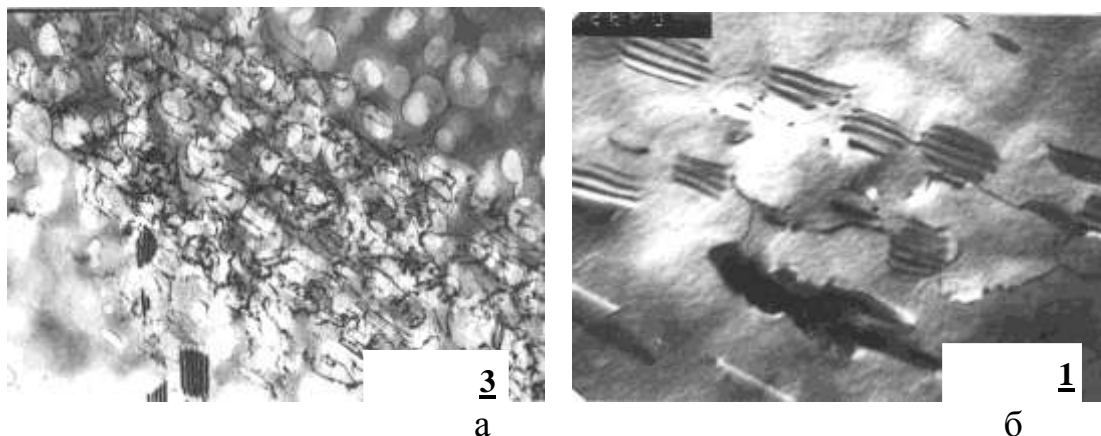


Рис. 2. Структура пера лопатки после наработки 9390 ч при 880°C: видны полосы скольжения и дефекты упаковки в частицах упрочняющей интерметаллидной фазы.

Длительная эксплуатация приводит изменениям в карбидной фазе. Карбиды сосредоточены преимущественно на границах зерен. Происходит коагуляция и одновременно образование карбидов $M_{23}C_6$. Данное структурное состояние имеет место вдали от зоны разрушения.

В месте излома, произошедшего вследствие аварии, в пере наблюдается высокая концентрация дефектов структуры: дислокаций и дефектов упаковки. Кроме того, в значительной степени выражена фрагментация частиц упрочняющей γ' -фазы малоугловыми границами.

Таким образом, эксплуатация на установке ГТЭ-45-3 при 880°C в течение более 9000 ч приводит к существенной деградации структуры лопатки. Либо она должна работать в данных условиях в течение меньшего времени, либо нужно снизить температуру ее эксплуатации.

Работа выполнена с частичной финансовой поддержкой гранта НШ-643-2008.3.